

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-77630

⑮ Int. Cl.<sup>3</sup>G 01 J 3/26  
H 01 S 3/131  
3/18

識別記号

庁内整理番号

8707-2G  
7630-5F  
7377-5F

⑬ 公開 平成2年(1990)3月16日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全7頁)

⑭ 発明の名称 光干渉計及びそれを使用した半導体レーザの発振周波数安定化方法

⑰ 特 願 昭63-228525

⑱ 出 願 昭63(1988)9月14日

⑲ 発 明 者 尾 中 寛 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社  
内

⑳ 出 願 人 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

㉑ 代 理 人 弁理士 松 本 昂

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光干渉計及びそれを使用した半導体レーザの発振周波数安定化方法

## 2. 特許請求の範囲

(1) 温度変化に対する屈折率の変化の係数が負の値である光学媒質を用いて構成されることを特徴とする光干渉計。

(2) 半導体レーザ(1)からの光を請求項1記載の光干渉計(2)に投入し、

この光干渉計(2)で干渉して出力された光を受光器(3)で受光し、

上記半導体レーザ(1)の発振周波数が上記光干渉計(2)の干渉スペクトル(4)のピーク強度(5)又は所定強度(6)を与える周波数と一致するように制御することを特徴とする半導体レーザの発振周波数安定化方法。

## 3. 発明の詳細な説明

## 概 要

光FDM伝送方式に適した、光干渉計及びそれを使用した半導体レーザの発振周波数安定化方法に関し、

温度変化による干渉スペクトルの変化が著しくない光干渉計の提供を目的とし、

温度変化に対する屈折率の変化の係数が負の値である光学媒質を用いて光干渉計を構成する。

## 産業上の利用分野

本発明は、光FDM伝送方式に適した、光干渉計及びそれを使用した半導体レーザの発振周波数安定化方法に関する。

光ファイバを伝送路とする光通信又は光伝送の分野において、単一伝送路当たりの伝送容量を増大するためには、波長分割多重(WDM)伝送方式が有効である。近年、DFBレーザ等の狭線幅な単一縦モードスペクトルを有する半導体レーザ(LD)が開発されたことに伴い、高密度なWD

M伝送が可能となった。高密度化を進め波長間隔が1Å以下になると、波長間隔を周波数間隔としてとらえた方が理解しやすいので、本願明細書中では光信号を数GHz乃至数十GHzの周波数間隔で多重化して伝送する方式を特に光周波数分割多重(光FDM)伝送方式と称することにする。この方式の実施に際して送信側光源に要求されることは、前述したように発振スペクトルが狭線幅な単一縦モードであること及びその中心周波数が経時的に安定していることである。本発明はこれらのうち後者の要求に応ずるものである。

#### 従来の技術

第7図は光FDM伝送方式の説明図である。光送信機81-a, b, c, ...から出力された周波数がそれぞれ $f_a, f_b, f_c, \dots$ の出射光は、合成されて光伝送路82に送出される。光伝送路82により伝送された光FDM信号光は、光タップ83, 84によって分岐されて複数の端末の光受信機85, 86, ...で受信される。

において、光伝送路101により伝送された光FDM信号光は、高精度な光分波器102によって光の段階でそれぞれの信号光に分離され、分離された信号光は、それぞれ受光素子103-a, b, c, ...及び電気回路104-a, b, c, ...によって各電気的な信号成分に変換される。この方式はそのまま通常の強度変調方式に適用することができ、光伝送路の経済的な構成が可能になる。光分波器102としては、例えばマッハツェンダ干渉計を用いてなるものが使用される。

上述した光FDM伝送方式を実現するためには、送信側で多数の光源を所定の周波数位置に安定化することが必要となる。必要とされる周波数安定度は、周波数間隔の1%程度である。このため、周波数間隔が5GHz程度であるとすれば、光源を50MHz程度の制度で安定化する必要がある、光源を何らかの周波数基準に対して安定化する方法が用いられる。

第9図乃至第11図は、従来の周波数安定化方法を説明するための図である。LD111からの

第8図は一般的な光受信機の構成例説明図であって、(a)はコヒーレント光通信方式におけるヘテロダイン又はホモダイン検波方式、(b)は通常の直接検波方式を示すものである。(a)において光伝送路91により伝送された光FDM信号光及び局部発振光源92からの局部発振光は、混合器93で混合されてフォトダイオード等の光検波器94に入射される。このとき、各光FDM信号光の信号成分は、光検波器94の二乗特性によって各信号光の周波数と局部発振光の周波数との差の周波数(例えば数GHz)の中間周波信号(ヘテロダイン検波の場合)として取り出されるから、局部発振光の周波数を変化させてチューニングすることによって、帯域フィルタ95においてそれぞれの多重信号成分に分離することができる。この方式によれば、受信感度の向上を期待できるので、光伝送路における中継間隔の拡大もしくは中継器数の削減又は分岐数の増大が可能となるばかりでなく、高密度な周波数多重が期待できるので、光伝送路を経済的に構成することが可能となる。一方、(b)

光は、光干渉計112を介して受光器113により受光される。光干渉計112は、例えば第10図に示すように、石英ブロックの両端面を平行研磨し、研磨面に使用波長域で高反射率を有する反射膜121, 122を設けてなるファブリペロ干渉計である。このような干渉計は第11図に示すように、光強度が周波数の変化に対して周期的に変化するような干渉スペクトルを有しているので、該スペクトルの適当な位置に発振周波数を安定化することができる。即ち、例えば受光器113の出力電圧を制御回路114において適当な基準電源と比較する等により駆動回路115を制御して、LD111の発振周波数を光干渉計112の干渉スペクトルに対して安定化することができる。

#### 発明が解決しようとする課題

第10図に示されるファブリペロ干渉計の光学媒質の屈折率を $n$ 、共振器長を $l$ 、光速を $c$ とすると、共振ピークの周波数軸上での間隔(フリースペクトルレンジ)FSRは、

$$FSR = c / 2 n \ell$$

で表され、共振器長が $d \ell$ 変化したときの共振周波数の変化 $\Delta f$ は、光の波長を $\lambda_0$ とすると、

$$\Delta f = (d \ell / \lambda_0 / 2 n) FSR$$

となり、共振器長が $\lambda_0 / 2 n$ 変化すると、FSRに相当する周波数変化(例えば $\ell = 10 \text{ mm}$ ,  $n = 1.5$ のときに、 $FSR = 10 \text{ GHz}$ )が生じる。このためファブリペロ干渉計に多少なりとも温度変化が与えられると、共振光路長が変化し、干渉スペクトルが周波数軸上で著しくずれ、つまり、共振周波数が著しく変化し、LDの発振周波数を一定周波数に安定化することが困難になるという問題を生ずる。

そこで、本発明は、温度変化による干渉スペクトルの変化が著しくない光干渉計の提供を目的としている。

又、この光干渉計を使用してLDの発振周波数を安定化することを目的としている。

#### 作 用

光干渉計における光学媒質の屈折率を $n$ 、光路長(例えば共振器長)を $\ell$ とすると、温度( $T$ )の変化に対する共振光の波長 $\lambda$ 。又は周波数 $\nu$ の変化の割合は、

$$\frac{1}{\lambda_0} \frac{d \lambda_0}{d T} = - \frac{1}{\nu} \frac{d \nu}{d T} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} + \frac{1}{\ell} \frac{\partial \ell}{\partial T}$$

のように表される。光学媒質の線熱膨張係数に相当する $\partial \ell / \partial T$ は一般に正の値を有するから、温度変化に対する屈折率の変化の係数 $\partial n / \partial T$ を適当な負の値とすることによって、 $\partial \ell / \partial T$ を相殺して、光干渉計の光路長変化を抑制することができ、その結果、温度変化に対して安定な光干渉計を提供することができる。

このように本発明の光干渉計では、温度変化による干渉スペクトルの周波数軸上でのずれが小さいから、第1図に示すようにLDの発振周波数を干渉スペクトルに対して安定化することによって、高い発振周波数の安定度を得ることができる。

尚、第1図に示される発振周波数安定化方法に

#### 課題を解決するための手段

光干渉計の光学媒質として使用する光学ガラスのなかには、その組成によって温度変化に対する屈折率の変化の係数を負の値とすることができるものがあり、このような光学媒質を用いて光干渉計を構成することによって、一般に正の値である線熱膨張係数による干渉スペクトルのずれを相殺して、光路長をほぼ一定に保つことができ、温度に対して安定な周波数基準として使用することができる。

この光干渉計を使用してLDの発振周波数を安定化する場合には、第1図(a)に示すように、LD1からの光を光干渉計2に入力し、この光干渉計2で干渉して出力された光を受光器3で受光しておき、同図(b)に示すように、LD1の発振周波数が光干渉計2の干渉スペクトル4のピーク強度5又は所定強度6を与える周波数と一致するように制御する。

において、LDの発振周波数が干渉スペクトルのピーク強度又は所定強度を与える周波数と一致するように制御する、としているのは、同期検波を用いて発振周波数がピーク強度を与える周波数に一致するように制御する方法又は基準電源を用いて発振周波数が所定強度を与える周波数に一致するように制御する方法を想定しているからであり、これについては実施例で詳しく説明する。

#### 実 施 例

以下本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

第2図は、本発明の実施例を説明するための、ファブリペロ干渉計の具体的構成例を示す図である。同図(a)に示されるバルク型の干渉計では、光ファイバ11から出射された光をレンズ12により概略コリメート光とし、このコリメート光を、光学媒質13とその入出射面に形成された反射膜14、15とからなる光共振器に透過させて、再びレンズ16により集束して光ファイバ17又は図示しない受光素子に入射させるようにしている。

光学媒質13としては、例えばHOYA社製のガラスADC1を使用することができる。このガラスの線熱膨張係数が $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の範囲において $109 \times 10^{-7}$ であり、温度変化に対する屈折率の変化の係数が $-20^{\circ}\text{C} \sim +20^{\circ}\text{C}$ の範囲において $-6.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $+20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ の範囲において $-6.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるので、これらに伴う共振周波数の変化を相殺することができる。温度変化に対する干渉スペクトルの周波数軸上でのずれを小さくすることができる。温度変化に対する屈折率の変化の係数が負の値であるガラスとしては、上述したものの他に、同社製FK5、FC5、FSK10、FCD10等がある。

第2図(b)に示される導波路型の干渉計では、導波路を構成している低屈折率部21及び高屈折率部22を上述のような光学媒質から形成し、高屈折率部22の両端面に適当な反射膜23、24を設けている。

第2図(c)に示されるファイバ型の光干渉計

では、コア31及びクラッド32からなる所定長さの光ファイバを上記したような光学媒質から形成し、その両端面に反射膜33、34を設け、スプライシング等の技術により光伝送路としての光ファイバ35、36と接続している。これら導波路型又はファイバ型の光干渉計にあっても、バルク型と同様に温度変化に対する干渉スペクトルの周波数軸上でのずれを防止することができる。

第3図は、LDの発振周波数を、ファブリペロ干渉計の干渉スペクトルにおける所定強度を与える周波数に一致するようにしたLDの発振周波数安定化装置のブロック図である。バイアス回路41により駆動されるLD42の出射光は、光カプラ43で概略二等分されて、一方は直接第1の受光器44に入射され、他方はファブリペロ干渉計45を介して第2の受光器46に入射される。第1及び第2の受光器44、46の出力は除算器47に入力され、その出力電圧 $V_o$ は、比較器48において基準電源49からの電圧出力 $V_r$ と比較される。そして、比較器48の出力信号に基づい

てPID制御回路50によりLD42の駆動電流がフィードバック制御される。

第4図は、除算器の出力 $V_o$ とLD42の発振周波数との関係を示すグラフである。この干渉スペクトルは、上述したファブリペロ光干渉計の構成により極めて再現性良く得ることができるから、スペクトルピークの肩Pに発振周波数を安定化すべく基準電源49の電圧出力 $V_r$ を設定することにより、LD42の発振周波数を $V_o$ に対応した $f_o$ に安定化することができる。

第5図はLDの発振周波数を、干渉スペクトルのピーク強度を与える周波数と一致するようにしたLDの発振周波数安定化装置のブロック図である。駆動回路61により駆動されているLD62の出射光は、伝送情報のビットレートよりも十分に低い周波数 $f$ で発振する発振器63の出力信号により周波数変調され、この周波数変調光は、ファブリペロ干渉計64を介して受光器65により受光されている。そして、周波数変調に応じた受光レベルの変化は、ロックインアンプ66におい

て発振器63からの分岐出力により同期検波され、その検波出力に基づいたPID制御回路67の動作により、駆動回路61がフィードバック制御されるようになっている。

第6図において、71で示されるのは、ファブリペロ干渉計64の干渉スペクトルであり、72で示されるのはその一次微分曲線、即ちロックインアンプ66の出力特性である。このように、LDを周波数変調するとともにこれにともなう受光レベルの変化を同期検波することにより、一次微分曲線72の線形な部分を用いて周波数弁別を行うことができるので、LD62の発振周波数をフィードバック制御することができる。

上述した光学媒質を用いてファブリペロ干渉計を構成することで、第3図乃至第6図に示される実施例において従来と同様の温度制御を行ったときに、LDの発振周波数の安定度を一桁以上高めることができた。

ところで、第2図に示されるようなファブリペロ干渉計を実際に使用する場合、これらの干渉計

が大気中に開放されていると大気圧変動により共振器の光路長変化を生じることになる。このため、干渉計を気密封止するとともにその内部の気圧を一定に保つことで、安定度をさらに高めることが可能になる。

以上の実施例においては、特にLDの発振周波数安定化装置におけるファブリペロ干渉計について説明したが、同装置におけるリング干渉計についても本発明は有効である。又、本発明をマッハツェンダ型光干渉計に適用することによって、例えば第8図（従来例図）に示される光合分波器102の通過帯域特性を温度変化に対して極めて安定なものとすることができる。

#### 発明の効果

以上詳述したように、本発明によれば、温度変化による干渉スペクトルの変化が著しくない光干渉計を提供することが可能になるという効果を奏する。又、この光干渉計を使用してLDの発振周波数を安定化する場合には、高い周波数安定度を

得ることが可能になるという効果もある。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の原理図、

第2図は本発明の実施例図であって、ファブリペロ干渉計の具体的構成例を示す図、

第3図は本発明の実施例を示すLDの発振周波数安定化装置のブロック図、

第4図は第3図に示される装置の動作説明図、

第5図は本発明の他の実施例を示すLDの発振周波数安定化装置のブロック図、

第6図は第5図に示される装置の動作説明図、

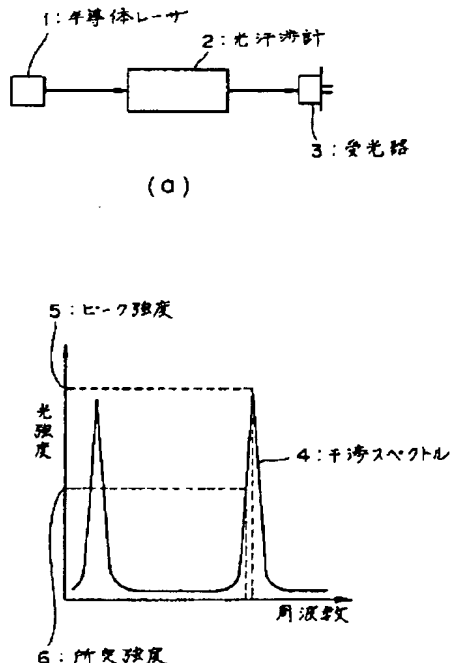
第7図乃至第11図は従来技術を説明するための図である。

1, 42, 62…LD（半導体レーザ）、

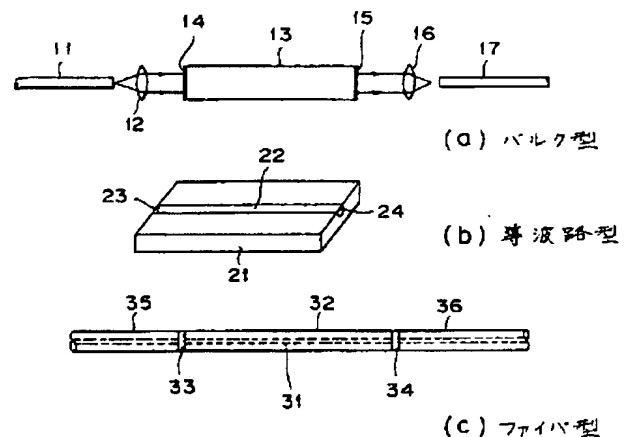
2…光干渉計、

3, 44, 46, 65…受光器、

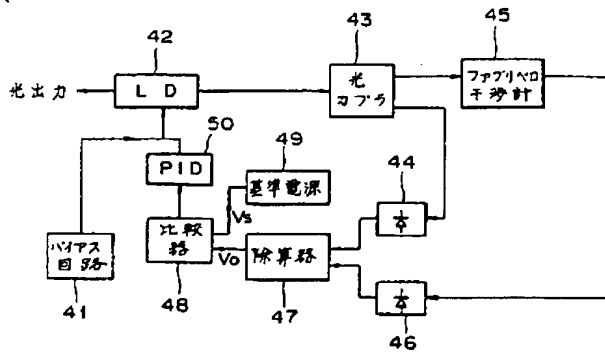
45, 64…ファブリペロ干渉計。



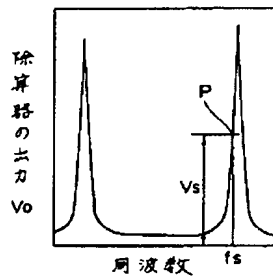
(b)  
本発明の原理図  
第1図



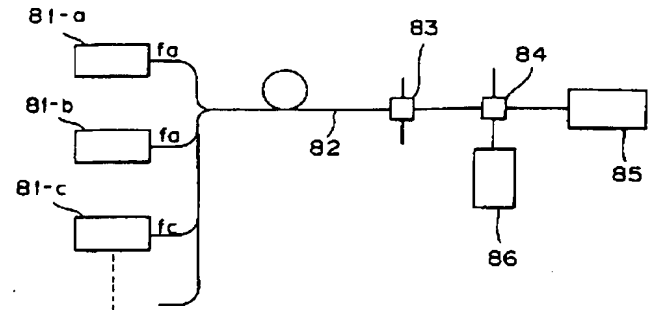
実施例図（光干渉計）  
第2図



実施例図 (発振周波数安定化装置)  
第 3 図

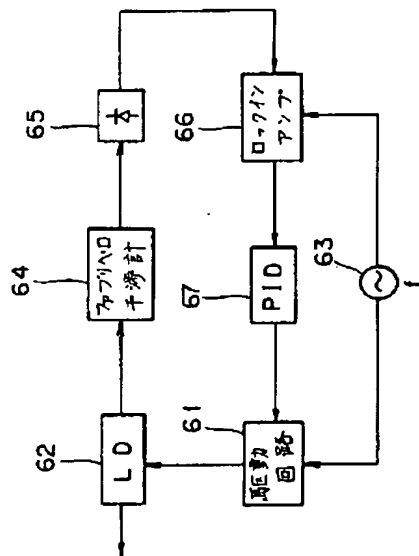


実施例図 (第3図の動作説明図)  
第 4 図

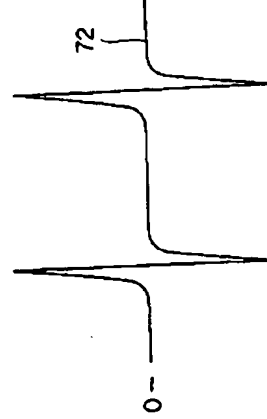
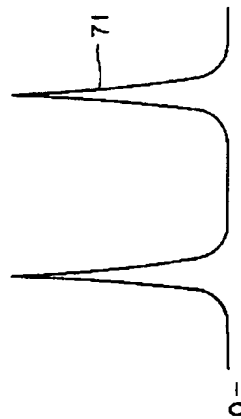


81-a, b, c : 光送信機  
85, 86 : 光受信機

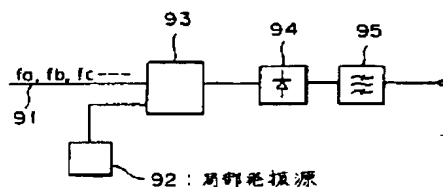
従来例図  
第 7 図



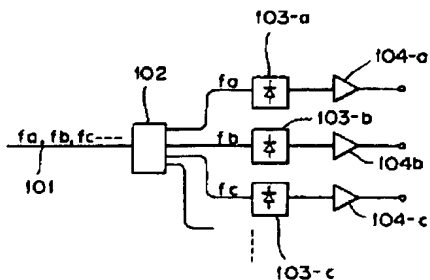
他の実施例図 (発振周波数安定化装置)  
第 5 図



他の実施例図 (第5図の動作説明図)  
第 6 図

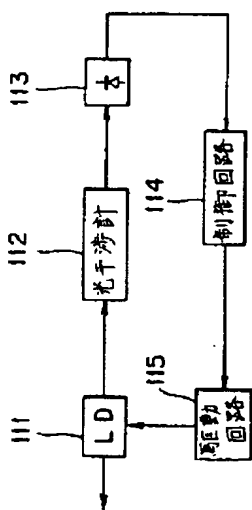


(a) ヘテロダイン又はホモダイン検波方式

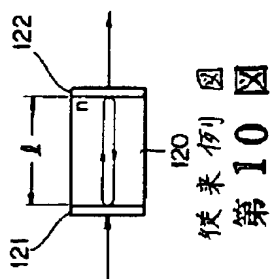


(b) 直接検波方式

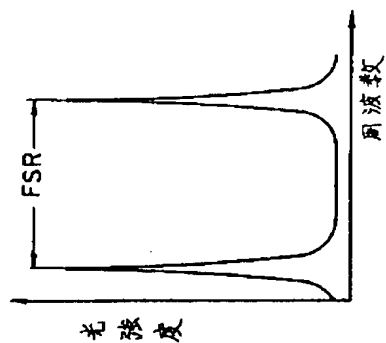
従来例図  
第8図



従来例図  
第9図



従来例図  
第10図



従来例図  
第11図